

响应面法优化 复合植物蛋白饮品的稳定体系

伏金娣¹, 刘小杰^{2,*}, 马青²

(1. 浙江理工大学科技与艺术学院, 浙江杭州 311121;
2. 杭州娃哈哈集团有限公司研发中心, 浙江杭州 310018)

摘要: 用响应面方法对复合植物蛋白饮品的稳定体系进行了优化。先用全因子实验对稳定剂组分卡拉胶、瓜尔豆胶、黄原胶和结冷胶对复合植物蛋白饮品沉淀量的影响进行了评价, 并找出主要影响因子为瓜尔豆胶和结冷胶, 其它组分对沉淀量没有显著影响。采用中心组合设计及响应面分析确定主要影响因子的最佳浓度。稳定体系的最佳组成为(g/L): 卡拉胶 0.2、瓜尔豆胶 0.5、黄原胶 0.2、结冷胶 0.5, 此条件下复合植物蛋白饮品表现出良好的稳定性。

关键词: 复合植物蛋白饮品, 稳定体系, 响应面方法, 优化

Optimization of stable system for blended plant protein drink using response surface methodology

FU Jin-di¹, LIU Xiao-jie^{2,*}, MA Qing²

(1. Keyi College of Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou 311121, China;
2. R & D Center of Hangzhou Wahaha Group Co., Ltd., Hangzhou 310018, China)

Abstract: Response surface methodology was used to optimize stable system for blended plant protein drink. In the first optimization step the influence of carrageenan, guar gum, xanthan gum and gellan gum on precipitation of blended plant protein drink was evaluated using a full factorial design. Guar gum and gellan gum were main impact factor, and other components had no significant effect on precipitation. The optimal concentrations of guar gum and gellan gum were determined by a central composite design and response surface analysis. The best composition of stable system were (g/L): carrageenan 0.2, guar gum 0.5, xanthan gum 0.2 and gellan gum 0.5. Blended plant protein drink showed good stability under these conditions.

Key words: blended plant protein drink; stable system; response surface methodology; optimization

中图分类号: TS275.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2012)08-0249-03

大豆是世界公认的高营养的植物蛋白来源, 且其组成是优质蛋白, 是植物食物中唯一可以替代动物蛋白的食物, 有“植物肉”和“绿色乳汁”之称。近年来, 随着对大豆保健功能因子的深入研究, 人们发现大豆中含有多种活性物质, 具有预防一些慢性疾病如心血管病、骨质疏松症、妇女更年期综合症等功效; 研究发现, 花生保护心血管的作用不仅与其所含的高单不饱和脂肪酸有关; 还可能与花生富含膳食纤维、维生素 E、叶酸、铜、镁、精氨酸和植物活性化合物等有关。核桃果肉营养丰富, 有强身补脑、驻颜益寿的功效, 为历代延年益寿的佳品。复合植物蛋白饮料整个宏观分散体系呈乳状液态, 具有热力学的不稳定性。影响其稳定性的因素很多, 如浓度、粒度、粘度、pH、电解质、微生物和加工工艺条件等^[1]。复合植物蛋白饮料在加工和储藏过程中易发生蛋白质沉淀、脂肪上浮等现象, 因此需要添加稳定剂以提

高其稳定性。稳定剂在单独使用时一般难以达到良好的效果, 在生产中多采用稳定剂复配的形式^[2]。响应面分析法是多变量系统寻优的实验策略, 该方法已成功应用于脱色工艺、蛋白和多酚提取工艺的优化^[3-5]。本研究以大豆蛋白粉、花生酱、核桃粉等为主要原料, 制成复合植物蛋白饮品。在前期单因素实验研究的基础上, 利用响应面方法对影响产品稳定性的稳定剂组成进行筛选和优化, 为复合植物蛋白饮品的工业化生产奠定一些实验基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄原胶 山东中轩股份有限公司; 卡拉胶 美国 FMC 公司; 瓜尔豆胶 美国嘉吉公司; 结冷胶 美国 CP-Kelco 公司; 大豆蛋白、花生酱等其它配料 购自国内各大供应商。

均质机 美国 APV 公司; 高速离心机 德国 Eppendorf 公司; pH 计 METELER-TOLATO 公司; RFM800 自动数字折光仪 英国 B+S 公司。

收稿日期: 2011-08-29 * 通讯联系人

作者简介: 伏金娣(1977-), 女, 硕士, 研究方向: 计算机基础与应用。

1.2 实验方法

pH 的测定:用精密 pH 计测定;可溶性固形物的测定:用 RFM800 自动数字折光仪测定;沉淀量的测定:一般来说,植物蛋白饮料的稳定性需经过长时间的静置观察。本实验中使用离心机来测定复合稳定剂对植物蛋白饮料的稳定效果,具体方法为:取复合植物蛋白饮品 10mL,4000r/min 离心 5min,观测沉淀量(%)。

1.3 实验设计

1.3.1 全因子实验设计 根据以前的研究和文献报道,选取 4 种稳定剂,每种成分作为一个因子,若用全因子设计则为 4 因子 2 水平的 2^4 设计,共需要 16 次实验。

1.3.2 中心组合设计 用多项式回归分析(PROC RSREG)对实验数据进行拟合,得到二次多项式,该方程为描述响应量(应变变量)和自变量关系的经验模型。对于 2 因子系统,模型可描述为

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1 \times X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2$$

式中:Y 为预测响应值, X_i 为独立变量的编码值, b_0 为截距, b_1 、 b_2 为线性系数, b_{12} 为交互作用系数, b_{11} 、 b_{22} 为平方系数。

对方程所代表的响应面进行分析,优化的方程确定在临界值下的预测响应值是否为球面最大、球面最小或马鞍面。如果在实验范围内球面最大(或最小),则进行验证实验。如果最大值(或最小值)在实验范围之外,则进行脊分析,确定在什么方向进行实验可得到更好的结果。在本研究中,Y 表示离心后的沉淀量(%)。

用统计分析软件 SAS/Statistic Version6.12 对实验数据进行分析。

2 结果与分析

2.1 复合植物蛋白饮品的生产工艺

复合植物蛋白饮品的工艺流程如图 1 所示。

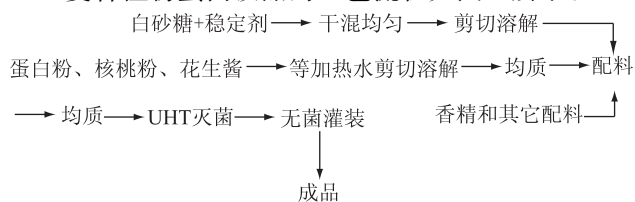


图 1 复合植物蛋白饮品生产工艺

Fig.1 The production processes of blended plant protein drink

工艺要点如下:

a.将部分配料用水加热至 75~80℃,分散并充分溶解白砂糖、稳定剂干粉混合物,在高速搅拌剪切(2800r/min)15min,备用;

b.在适量 75~80℃ 热水中加入蛋白粉、核桃粉等的预混料,高速搅拌剪切(2800r/min)15min;

c.加入乳化剂、植脂末搅拌剪切 5min,加入花生酱剪切(2800r/min)10min;

d.上述复合蛋白料液在 60~65℃,350MPa 条件下均质;

e.在配料罐中混合料液,并高速搅拌或剪切 15min,在搅拌条件下添加香精,定容搅拌 10min;

f.将配好的料液在 60~65℃,25~30MPa 条件下均质;

g.UHT 灭菌条件温度为 137℃,时间为 4s。

2.2 全因子实验设计及结果

以卡拉胶(X_1)、瓜尔豆胶(X_2)、黄原胶(X_3)和结冷胶(X_4)为基本稳定剂,选用 2^4 全因子实验设计,各因子编码值及实验设计和实验结果见表 1 和表 2。

表 1 全因子实验设计因子及编码值

Table 1 List of coded factors of full factorial design

水平	因素			
	x_1 卡拉胶 (g/L)	x_2 瓜尔豆胶 (g/L)	x_3 黄原胶 (g/L)	x_4 结冷胶 (g/L)
-1	0.2	0.3	0.2	0.2
0	0.3	0.4	0.3	0.3
1	0.4	0.5	0.4	0.4

表 2 全因子实验设计及其实验结果

Table 2 Experimental designs and the results of full factorial design

实验号	X_1	X_2	X_3	X_4	Y 沉淀率 (%)
1	-1	-1	-1	-1	2.0
2	1	1	-1	1	1.0
3	-1	1	1	-1	1.9
4	1	-1	-1	-1	2.2
5	1	-1	-1	1	0.9
6	1	-1	1	-1	3.1
7	-1	-1	-1	1	2.1
8	-1	1	1	1	0.7
9	-1	1	-1	1	1.0
10	1	1	-1	-1	1.9
11	1	1	1	-1	2.0
12	1	-1	1	1	0.9
13	1	1	1	1	1.5
14	-1	1	-1	-1	2.8
15	-1	-1	1	-1	3.0
16	-1	-1	1	1	2.2
17	0	0	0	0	2.8
18	0	0	0	0	2.5
19	0	0	0	0	2.7
20	0	0	0	0	2.5

注: $X_1 = (x_1 - 0.3) / 0.1$, $X_2 = (x_2 - 0.4) / 0.1$, $X_3 = (x_3 - 0.3) / 0.1$, $X_4 = (x_4 - 0.3) / 0.1$, 17~20 为中心点的四次重复。

表 3 全因子实验回归分析结果

Table 3 Analysis results of GLM processing of full factorial design

参数	估计值	标准误	显著性水平
Intercept	1.985	0.1302	0.0001
X_1	-0.1375	0.1456	0.3600
X_2	-0.2250	0.1456	0.1431
X_3	0.0875	0.1456	0.5568
X_4	-0.5375	0.1456	0.0022

由全因子实验结果回归分析可以看出 X_2 、 X_4 用量对植物蛋白饮品稳定性的影响较大,其中 X_4 的添加量对产品稳定性的影响尤为显著,而 X_1 和 X_3 浓度对稳定性的影响不显著,各因子间的交互作用不显著。由

回归分析结果可得一次拟合线性回归方程:

$$Y = 1.985 - 0.1375X_1 - 0.225X_2 + 0.0875X_3 - 0.5375X_4 \quad \text{式(1)}$$

对式(1)进行方差分析, $F = 4.317$, $P = 0.016$, 说明模型在概率 $\alpha = 0.05$ 水平上足够拟合实验数据。

对实验组数据平均值与中心点实验数据的平均值进行 t -检验, T 统计量检验结果表明, 在方差相等和方差不等的条件下, 中心实验点和全因子实验平均值差异均为显著, 说明实验的最优点(沉淀量最小)在当前实验的设计范围之内, 不需应用最陡爬坡法寻找实验的最优空间。

2.3 稳定剂的优化

由全因子实验结果可得, 响应变量 Y 值接近最小响应值区域, 以处理 8 的稳定剂组成为原点进行响应面分析, 实验设计及结果见表 4。

表 4 中心组合设计及实验结果

Table 4 Experimental designs and the results of central composite design

实验号	X_2	X_4	Y 沉淀率(%)
1	1	-1	2.0
2	-1.414	0	1.8
3	-1	1	0.70
4	0	1.414	0.50
5	-1	-1	3.0
6	0	-1.414	2.3
7	1	1	0.45
8	1.414	0	1.2
9	0	0	1.1
10	0	0	1.05
11	0	0	1.05
12	0	0	1.0
13	0	0	1.1

注: $X_2 = (x_2 - 0.5) / 0.1$, $X_4 = (x_4 - 0.4) / 0.1$ 。

对实验数据进行多项式回归, 可以得到如下二次多项式方程:

$$Y = 1.0598 - 0.263X_2 - 0.801X_4 + 0.243X_2^2 + 0.188X_2X_4 + 0.193X_4^2 \quad \text{式(2)}$$

方程 2 的系数中 b_{11} 和 b_{22} 均为正值, 方程表征的抛物面开口向上(见图 2), 有极小值点。经计算方程 2 的确定系数 R^2 为 0.962, 表明该模型能够较好地解释沉淀量随稳定剂不同组合而引起的变化。经 DAS

(上接第 244 页)

[6] Ohnishi J, Hayashi M, Ikeda M. Efficient 40°C fermentation of L-lysine by a new *Corynebacterium glutamicum* mutant developed by genome breeding [J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2003, 62: 69-75.

[7] Becker J, Zelder O, Häfner S, et al. From zero to hero—design-based systems metabolic engineering of *Corynebacterium glutamicum* for L-lysine production [J]. Metab Eng, 2011, 13(2): 159-68.

[8] 于信令, 于军. 氨基酸发酵生产的调控优化 [M]. 发酵科技通讯, 2006, 35(1): 28-30.

[9] 姚汝华. 微生物工程工艺原理 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2007: 201-202.

[10] 孙玉华, 冯志彬, 徐庆阳, 等. 氮源对 L-赖氨酸发酵的影

响 [C]. 发酵工程研究会, 2006: 3-4.

[11] Abdul H S, Abdul H, Safia A. Optimization of culture conditions for L-lysine fermentation by *Corynebacterium glutamicum* [J]. Journal of Biological Sciences, 2002, 2(3): 151-157.

[12] Maija R, Longina P. fluxes and L-lysine synthesis by *Corynebacterium glutamicum* in relation to cellular total reducing activity [J]. Process Biochemistry, 2001, 36: 1233-1240.

[13] Theodora T, Mark T, Bustard. Fermentative production of lysine by *Corynebacterium glutamicum*: transmembrane transport and metabolic flux analysis [J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 499-508.

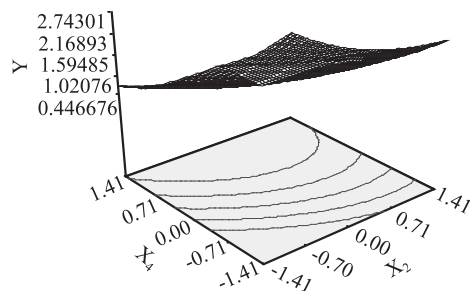


图 2 X_2 和 X_4 对沉淀量的中心组合响应曲面图

Fig.2 Response surface graph of X_2 and X_4 on precipitation

3 结论与讨论

本实验证明响应面方法优化复合植物蛋白饮品稳定体系十分有效, 全因子实验可在对各因子影响效应了解不多的情况下, 利用较少的实验次数快速找出主效, 使实验值能充分接近最大响应面区域, 中心组合实验能够快速对主要影响因子进行优化, 得到最大响应值。经响应面分析获得稳定体系的最佳组成为 (g/L): 卡拉胶 0.2、瓜尔豆胶 0.5、黄原胶 0.2、结冷胶 0.5, 此条件下复合植物蛋白饮品表现出良好的稳定性。

参考文献

[1] 孟宇竹, 雷昌贵, 蔡花真, 等. 布朗李杏仁复合蛋白饮料稳定性研究—乳化稳定剂对稳定性的影响 [J]. 中国食品添加剂, 2010(6): 138-142.

[2] 许彬, 李慧星. 花生蛋白饮料中复配稳定剂的研究 [J]. 食品科学, 2010, 31(20): 58-60.

[3] 万成, 聂少平, 张媛媛, 等. 响应面法优化低聚果糖液脱色工艺 [J]. 食品科学, 2011, 32(2): 9-12.

[4] 朱淑云, 董英. 响应面法优化水飞蓟蛋白的提取工艺 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 256-258.

[5] 郑菲, 黄亮, 李安平, 等. 响应面法优化橡胶壳中多酚提取工艺条件 [J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 49-51, 77.